

Kaphatunk-e reflexiót hőmérséklet-különbségről?¹

PRÓNAY ZSOLT², TÖRÖS ENDRE², MISKOLCZI RITA³

2001-ben, a tervezett budapesti 4-es metróvonal Duna alatti szakaszának vizsgálata során mért szonár (ultrahang tartománybeli szeizmikus) szelvényeken olyan jelenségeket fedeztünk fel, amelyeket addigi tapasztalataink alapján nem tudtunk megmagyarázni. A lehetőségek végiggondolása során arra a feltételezésre jutottunk, hogy az azonosíthatatlan jeleket meleg víz beáramlása okozhatja. Az elvégzett számítások megerősítették, hogy a környéken várható 40 °C-os szökevényforrások és a mérések idején a Duna 4-5 °C-os vize közötti hőmérséklet-különbségből származó akusztikusimpedancia-kontraszt szonár mérésekkel valóban kimutatható.

Bár a számítások és a matematikai modellezések egybehangzóan azt mutatták, hogy a kb. 35 °C hőmérséklet-különbség a szonár szelvényeken kimutatható nagyságú reflexiót eredményez, „az ördög nem alszik” elve alapján szükségét éreztük annak, hogy a valós körülményekhez hasonló módon, fizikai modellezéssel is bizonyítsuk a hőmérséklet-különbség kimutathatóságát.

ZS. PRÓNAY, E. TÖRÖS, R. MISKOLCZI: Is it possible to get reflection from temperature differences?

In 2001 the authors were involved in the sonar measurements for investigating the morphology of the river bed in the vicinity of the location where the proposed DBR4 metro line (Budapest, Hungary) crosses the river Danube. The sonar sections showed some wave arrivals, which greatly surprised the specialists. Those phenomena were considered to be reflections from hot drawn springs. Calculations were carried out using data from the literature to prove that the different velocity and density caused by the different temperature of drawn springs and the water of the river Danube results in reflection of the acoustic waves, and that the sonar method is suitable for detecting drawn springs.

Despite calculations and modelling were proven that a temperature difference of 35 °C produces reflections with measurable amplitude, because of the law that 'the Devil never sleeps' physical experiments were conducted using the same instrumentation as for field measurements to demonstrate the potentialities of the sonar method to detect temperature differences.

Előzmények

A balatoni iszapvastagság-mérésekhez kifejlesztettünk egy 80 kHz frekvencián működő, erősen irányított (8° a sugárzási kúp nyílásszöge), piezo adó- és vevőkristályokat használó szonár berendezést. Az iszap és a szökevényforrások vizsgálatában az a közös, hogy mindkét esetben rendkívül kis akusztikusimpedancia-kontrasztot kell kimutatni, ezért logikusnak tűnt a Balatonon már bevált, a megszokott vízi eszközöknél legalább egy nagyságrenddel nagyobb felbontású eszköz használata.

A terepi mérések a szökevényforrások kimutathatósága szempontjából különösen alkalmas időpontban végeztük [PRÓNAY, TÖRÖS 2001]. A Duna vízállása alacsony volt, ezért az átlagosnál intenzívebb melegvíz- és gázbeáramlásra számíhattunk. A folyó hőmérséklete 4 °C körül volt, ezért a várható akusztikusimpedancia-kontraszt az elméleti maximális érték közelében volt.

A mérési hálózat a Szabadság-híd D-i oldalán folyásirányban mintegy 400 m-t, míg keresztirányban a Duna motorcsónakkal hajózható teljes szélességét lefedte és mind hossz-, mind keresztirányú szelvényeket tartalmazott. A terület átlagos lefedettsége kb. 1 szonár csatorna/m² volt. Ez azonban nem teljesen egyenletesen oszlott meg, az érdekes, nagyobb változékonyságot mutató helyeken sűrűbb, míg a homogénebb képet mutató részekben ritkább volt.

A mérések során a kellően nagy, az ultrahang tartományba eső frekvencia biztosította, hogy a külső zaj (hullámzás, csónakmotor, forgalom a parton stb.) hatásával nem kellett számolni. A műszer erősítését úgy választottuk meg, hogy az elektronika kikerülhetetlen belső zaja kb. négy nagyságrenddel kisebb volt, mint a jelszint, így eltávolítása, ha egyáltalán szükség volt rá, digitális szűrők felhasználásával nem okozott gondot.

A szonár mérések eredményeként négy nagyobb, jól elkülöníthető csoportban, illetve elszórtan több mint ötven, eddig ismeretlen szökevényforrást mutattunk ki a Duna Szabadság-híd alatti szakaszán [PRÓNAY 2005]. Különböző vizsgálatok segítségével az esetek döntő többségében sikerült kizárni az egyéb értelmezési lehetőségeket, például az oldalbeérkezéseket. Megállapításainkat alátámasztja, hogy a kimutatott szökevényforrások földtani szempontból logikus helyeken vannak, ott, ahol a potenciálisan vízvezető, repedezett kőzet a mederfenéken, vagy ennek közvetlen közelében van.

A hőmérséklet hatása a paraméterekre

A visszavert jel nagysága vízben a beesés szögén kívül a két réteg sebességétől és sűrűségétől függ. A reflexiók együttható meghatározásához tehát ennek a két paraméternek a hőmérsékletfüggését kell ismernünk.

Hullámsebesség értékeket a hőmérséklet függvényében laboratóriumi táblázatokban, illetve a vízi mérések szakiro-

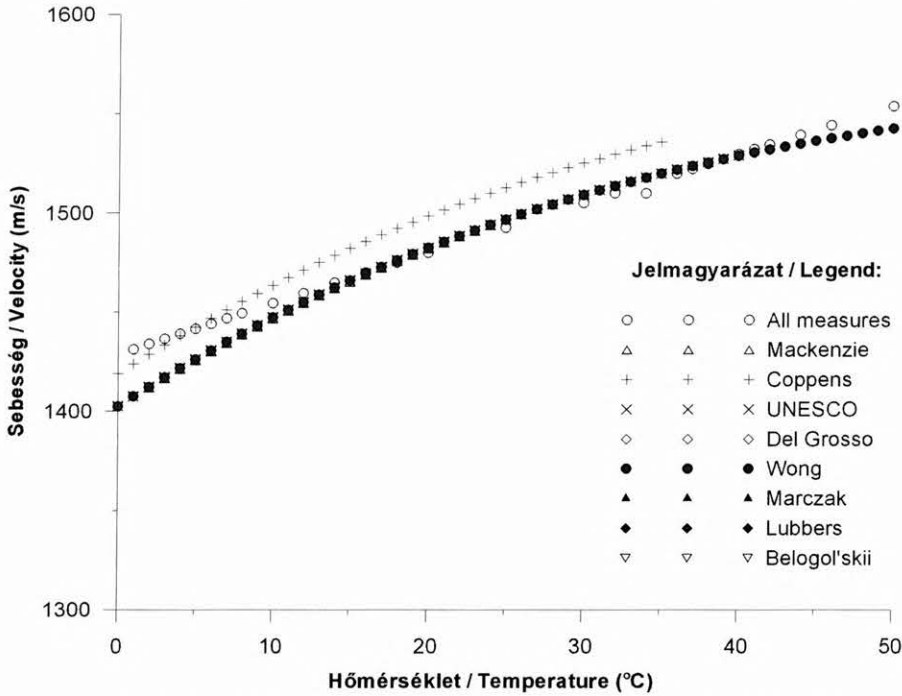
¹ Beérkezett: 2005. november 9-én

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

³ Bátor Kft., H-7633 Pécs, Esztergár Lajos u. 19.

dalmában található. A kémiai táblázatokban a csapvíz és a desztillált víz szerepel. A szakirodalomban talált értékek nagy része az óceánokra és tengerekre vonatkozik, és a hőmérsékleten kívül bemenő paraméter a mélység és a sótartalom is. Vizsgálataink során mélységnek 0 m-t, a sótartalomnak (NaCl) 0 ppm-et vettünk. Kis sótartalomnál a sebesség közel konstans, a sókoncentrációval alig változik, ezért elhanyagolása nem okoz jelentős hibákat az adatsorokban. Az 1. ábra sebességértékeit megvizsgálva kitűnik, hogy, bár látszólag sok függvényünk van, valójában csak három független adatsort találtunk. COPPENS [1981] értékei (keresztek) rendszerint magasabbak a többinél. Az

„All measures” [2004] valódi mért értékeket közöl (körök), ezért ez a görbe a legkevésbé sima, az adatok szórnak. 0 °C közelében ezek az értékek a legnagyobbak. Az összes többi szerző láthatólag közös, az UNESCO által közzétett adatsorból dolgozott, csak a függvény leírásához használt képlet típusa és fokszáma tér el egymástól [MACKENZIE 1981; DEL GROSSO, MADER 1974; WONG, ZHIU 1995; MARCZAK 1997; LUBBERS, GRAAFF 1998; BELOGOL'SKII et al. 1999]. Az összes idézett szerző adatai szerint a sebesség a hőmérséklettel monoton nő. Az adatok tanulsága szerint a sebességkülönbség 90–110 m/s között várható, ami nagyjából 6–7% sebességkontrasztot jelent.



1. ábra. A hullámsebesség hőmérsékletfüggése vízben különböző szerzők szerint

Fig. 1. Acoustic velocity in water vs. temperature according to different authors

A szakirodalomban található sűrűségadatokról gyakorlatilag ugyanaz mondható el, mint a sebességről, tehát az egyes szerzők adatai olykor jelentősen eltérnek egymástól. A fő különbség közöttük az, hogy — mivel a sűrűségadatokat a gyakorlatban többször alkalmazzák — ezért több, egymástól független adatsor áll a rendelkezésünkre (2. ábra). Ez elsősorban a laboratóriumokban leginkább használatos 0–30 °C hőmérsékletsávra érvényes. Az ábrán látható értékek egy része kémiai táblázatokból származik, mint a Phywe laborbeli mérőeszközöket gyártó cég kalibráló adatsora [PHYWE 2003], LIDE kémia kézikönyve [LIDE 2004], és a Frostburg State University General Chemistry Online [SENESE 2005] internetes honlapja. HORNE és GOLDMAN elsősorban amerikai tavakkal foglalkozó limnológiai szakkönyvből [HORNE, GOLDMAN 1994] és CHEN a Boden-tó vizével foglalkozó művéből [CHEN 1986] is használtam fel adatokat. A többi adatsor a „Thermal Excel”, az „SI Metric”, és a „University of New South Wales” [UNSW 2005] internetes honlapjairól származnak. Az adatok 30 °C felett nagyjából együtt futnak, míg ez alatt, de különösen 0 és 4 °C között komoly eltérések vannak. A minket érdeklő 4–40 °C tarto-

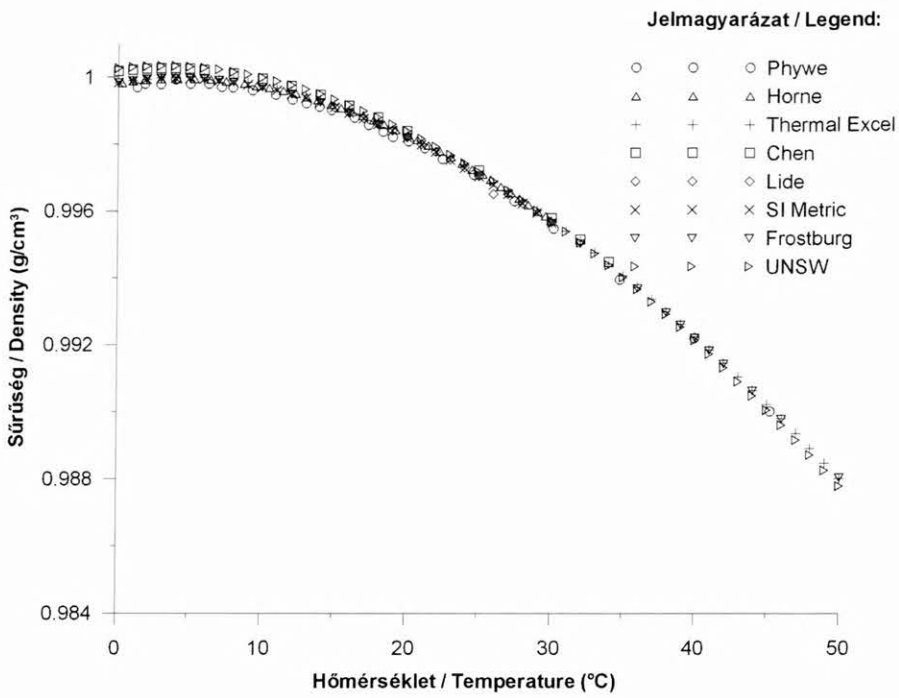
mányban a sűrűség a hőmérséklet növekedésével csökken, de ez a csökkenés kisebb, mint 1%.

A sebesség és sűrűség figyelembevételével a szökevényforrások esetében, 35 °C hőmérséklet-különbség feltételezésével, 2,6–3,8% közötti reflexiók együttható várható.

A fizikai modellezés

A szökevényforrások kimutathatóságának igazolására végzett fizikai modellezés során ugyanazokat az eszközöket használtuk, mint a terepi mérésnél, így egyértelműen bizonyíthatjuk, hogy az adott felszereléssel a vízbeli hőmérséklet-különbségekről származó reflexiók kimutathatók.

A méréseket a VITUKI Szabadidősport Park medencéjében, az üzemeltető Zubor Bt. segítségével végeztük el. A medencében lévő víz mélysége 1,5–1,6 m, hőmérséklete 27 °C volt. Ennél lényegesen melegebb vizet a helyszínen nem tudunk előállítani, ezért a vízbeáramlást hideg, 22 °C-os csapvízzel szimuláltuk. A mérőrendszert egy szűrődeszkán helyeztük el, erre szereltük az adó-vevő párt is (3. ábra).



2. ábra. A víz sűrűsége a hőmérséklet függvényében különböző szerzők szerint

Fig. 2. The density of water vs. temperature according to different authors



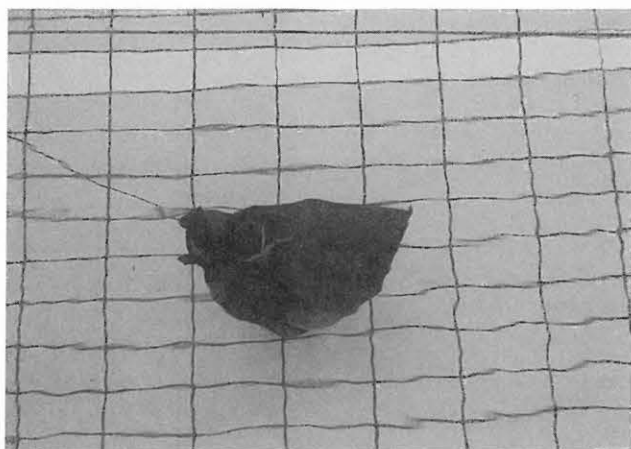
3. ábra. A mérőrendszer

Fig. 3. The measuring system

Először a műszer és a mérési elrendezés ellenőrzésére mindenféle beavatkozás nélkül hossz-szelvényeket mértünk a medencében. Mivel a hideg vizet a mérés ideje alatt csak nylonzacskóban tudtuk a megfelelő helyen tartani (4. ábra), a második szelvény mérésénél a zacskót uszodavízzel

töltöttük fel, annak vizsgálatára, hogy maga a zacskó befolyásolja-e az eredményeket. Egyesek szerint a Fresnel-zóna [BERKHOUT 1984, LINDSEY 1989] mérete alapján a vékony fólia nem jelenhet meg a felvételen, mások ellenben [MUSKAT 1938, WIDESS 1973] kimutathatónak tartják,

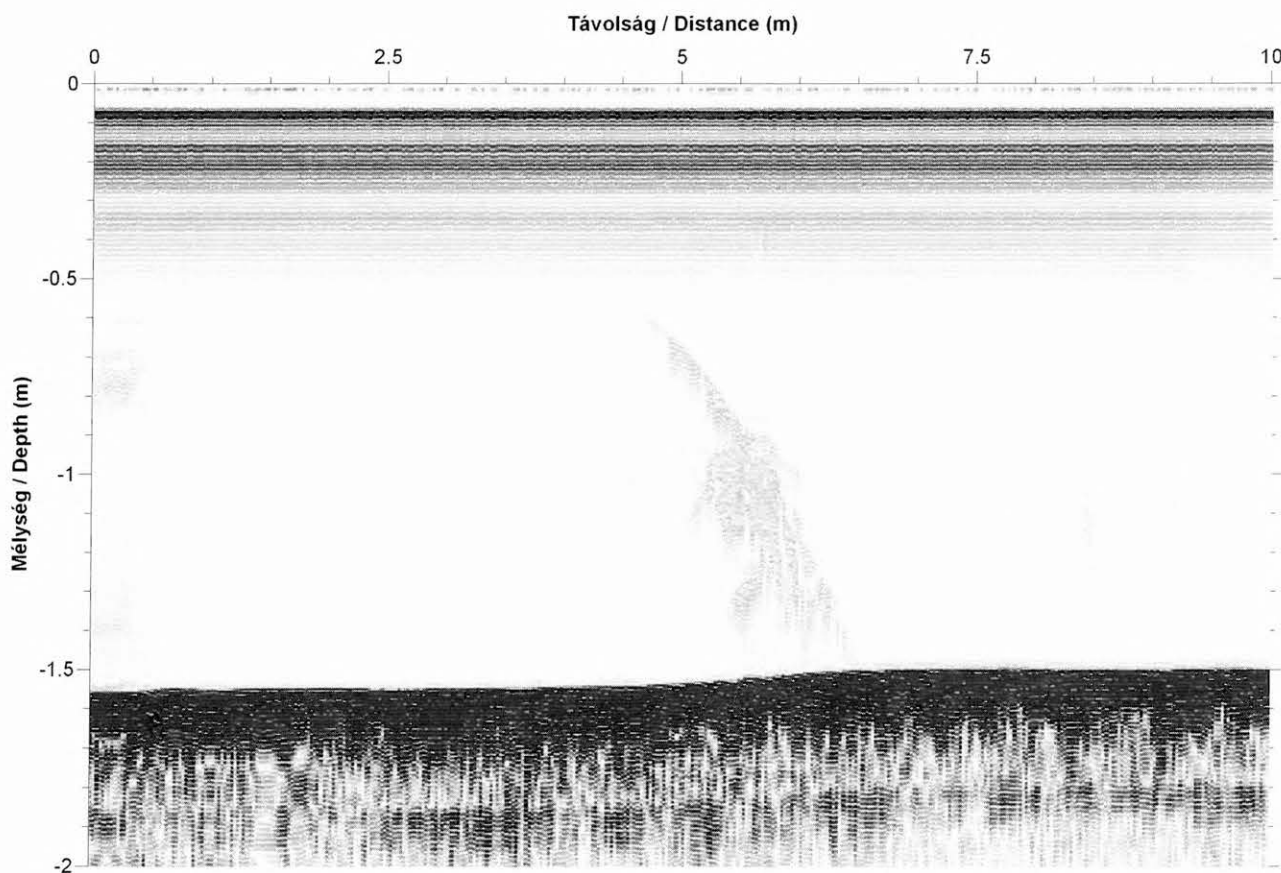
ezért szükségesnek véltük ennek a mérésnek a végrehajtását is. A zacskó 5,5 m körül 90 cm mélységben jól látható jelet produkált (5. ábra).



4. ábra. A hőmérséklet-anomália műanyag zacskóban
Fig. 4. The temperature anomaly in a plastic bag

Ezek után számításokat végeztünk a „vékony réteg”-nek tekintett zacskóról származó jel vizsgálatára. A PVC fólia vastagságát 0,01 mm-nek, sebességét 2000 m/s-nak véve összegeztük a zacskó két oldaláról származó reflexiókat. A vizsgálatoknál a fólia hullámforráshoz közelebbi oldaláról származó reflexió erősségét egységnyiinek, a beérkezést merőlegesnek vettük. A zacskó másik oldaláról származó visszaverődés ellentétes polaritású, és a réteghatáron elszenvedett visszaverődés miatt kisebb, közöttük az időtolás kisebb egy mintánál. A két jel összegének amplitúdója 0,16, így a vizsgált rétegekről az eredő reflexiók együttható $>2\%$, tehát elég nagy ahhoz, hogy kimutatható legyen. Értéke 0,1 mm falvastagságot feltételezve is alig változik, tehát a zacskónak valóban látszania kell. A tényleges műanyag fólia sebességét és sűrűségét nem ismerjük, ezért a számítások eredménye csak nagyságrendi becslésre alkalmas, de egyértelműen mutatja, hogy a vékony rétegről kaphatunk reflexiót.

A harmadik szelvényt a hideg vízzel feltöltött zacskó fölött mértük (6. ábra). A kimutathatóság szempontjából nem volt jelentősége annak, hogy hideg vízben meleget, vagy melegben hideget keresünk, a kontraszt ugyanakkora, csak a jel polaritása ellentétes.



5. ábra. Szonár szelvény uszodavízzel töltött zacskó fölött

Fig. 5. Sonar section above a bag filled with water from the pool

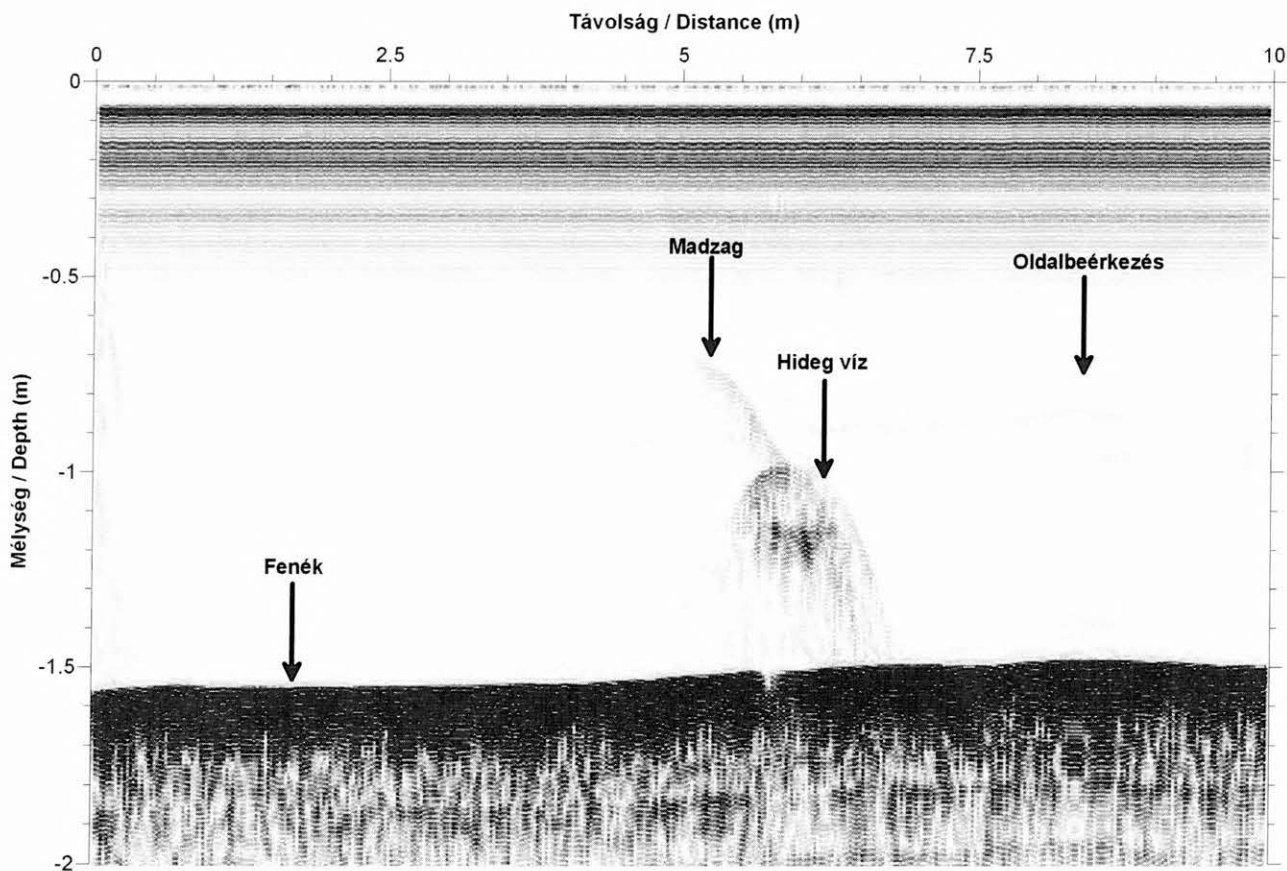
Az 5. és a 6. ábrát összehasonlítva láthatjuk, hogy a műanyag zacskóba zárt uszodavíz esetén a jelek amplitúdója kisebb, mint a hideg víz esetében, a reflexiók a szürke tartományba esnek, míg a 6. ábrán erősebb jelek is megjelennek. Mindkét esetben meghatároztuk a mesterséges anomáliáról származó jel maximális amplitúdóját és össze-

hasonlítottuk őket. A hideg vízzel töltött zacskóról közel ötször akkora amplitúdójú reflexiót kaptunk, mint az uszodavízzel, tehát az eltérő hőmérsékletű vízről jövő reflexió szignifikánsan nagyobb.

Itt kell még megjegyezni, hogy az uszodavízzel végrehajtott kísérlet esetén lehetséges, hogy a hosszú éjszakai

szünet alatt a medence vize sűrűsége szerint rétegződött, a hidegebb víz a medence aljára süllyedt, így ez, és a felszín közeléből megtöltött zacskó tartalma között is volt hőmérséklet-különbség.

A bemutatott szonár szelvényeken semmilyen, az amplitúdót megváltoztató beavatkozás nem történt, csak az A/D konverter minimális DC szintjét távolítottuk el frekvencia szerinti szűréssel. A 6. ábrán bejelöltük a lényeges hullám-beérkezéseket is.



6. ábra. Szonár szelvény hideg vízzel töltött zacskó fölött

Fig. 6. Sonar section above a bag filled with cold water

A fizikai modellezés során készült felvételeket az oldalbeérkezések szempontjából is megvizsgáltuk. Ilyen módon az egyes beérkezések arányait egyértelműen meghatározhattuk. A kevesebb, mint fél méter távolságban levő falról regisztrált oldalbeérkezés amplitúdója az 5°C hőmérséklet-különbségű vízhez képest 5,7% volt, tehát a szelvény ebből a szempontból zavartalannak tekinthető.

A medencében végzett kísérletek során a hőmérséklet-különbség kb. egyhetede volt a dunai méréseknél tapasztaltnak, ezért a sebesség- és sűrűségkülönbség is sokkal kisebb mértékű volt. A fizikai modellezés tanulsága szerint a dunai mérésnél használt frekvenciával és mérőrendszerrel ezt a kis kontrasztot is határozottan, jó jel/zaj viszonytal tudtuk mutatni, ezért joggal állíthatjuk, hogy a szökevényforrások kimutatása is lehetséges.

Összefoglalás

A terepi mérésnél használt mérőeszközök felhasználásával végzett fizikai modellezés segítségével sikerült egyértelműen kimutatni, hogy a vízben már 5 °C hőmérséklet-különbség is mérhető reflexiót eredményez. A dunai mérésnél a várható hőmérséklet-különbség ennél lényegesen

nagyobb, 35 °C volt, ezért megállapíthatjuk, hogy a szökevényforrások megbízható kimutatásának nincs fizikai vagy mérés technikai akadálya. Megállapítottuk, hogy bár az eltérő hőmérsékletű víz egy helyben tartásához használt műanyag zacskó is jól látható a szelvényen, a kisebb hőmérsékletű vízről kapott reflexió amplitúdója szignifikánsan nagyobb, mintegy ötször akkora. Ezzel bizonyítottuk, hogy vékony műanyag fólia lényegében nem befolyásolja az eredményeket.

Mindezek ellenére a szökevényforrások kimutatása nem egyszerű feladat, csak bizonyos hidrológiai és mérés technikai feltételek együttes teljesülése esetén lehetséges. Mivel az állandóan változó vízben keressük a szintén változó szökevényforrásokat, a mérés nem feltétlenül reprodukálható, HÉRAKLEITOSZ szavaival élve: nem léphetünk kétszer ugyanabba a folyóba.

HIVATKOZÁSOK

ALL MEASURES 2004: Materials and Formulae.
www.allmeasures.com

BELOGOL'SKII V. A., SEKOYAN L. M., SAMORUKOVA S. R., STEFANOV V. I., LEVTSOV V. I. 1999: Pressure dependence of

- the sound velocity in distilled water. *Measurement Techniques* **42**, 4, p. 406–413
- BERKHOUT A. J. 1984: Seismic resolution. Geophysical Press **12**, London–Amsterdam
- CHEN L. O. 1986: Water of lake Constance. CRC-Handbook, Boca Raton, FL, USA
- COPPENS A. B. 1981: Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. *J. Acoust. Soc. Am.* **69**, p. 862–863
- DEL GROSSO V. A., MADER C. W. 1974: New equation for the speed of sound in natural waters. *J. Acoust. Soc. Am.* **56**, p. 1084–1091
- HORNE A. J., GOLDMAN C. R. 1994: Lake Ecology Overview. *In*: WETZEL R. G.: *Limnology*. 2nd edition. McGraw-Hill Co., New York, USA
- LIDE D. R. 2004: *Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, 84th Edition, Boca Raton, FL, USA
- LINDSEY J. P. 1989: The Fresnel zone and its interpretative significance. *The Leading Edge* **8**, 10, p. 33–39
- LUBBERS J., GRAAFF R. 1998: A simple and accurate formula for the sound velocity in water. *Ultrasound Med. Biol.* **24**, 7, p. 1065–1068
- MACKENZIE K. V. 1981: Nine-term equation for the sound speed in the oceans. *J. Acoust. Soc. Am.* **70**, p. 807–812
- MARZAK W. 1997: Water as a standard in the measurements of speed of sound in liquids. *J. Acoust. Soc. Am.* **102**, p. 2776–2779
- MUSKAT M. 1938: The reflection of longitudinal wave pulses from plane parallel plates. *Geophysics* **3**, p. 198–218
- PHYWE 2003: Phywe Physics Experiments. <http://www.phywe.com>
- PRÓNAY Zs., TÖRÖS E. 2001: Szakvélemény a budapesti 4. sz. metróvonal I. szakasz Szent Gellért tér–Duna alatti átvezetés kiegészítő mérnökgeofizikai vizsgálatáról. ELGI jelentés (kézirat)
- PRÓNAY Zs. 2005: Szökevényforrások kimutatásának lehetősége szonár mérésekkel. PhD dolgozat, Kézirat
- SENESE F. 2005: General Chemistry Online. antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/index.shtml
- UNSW 2005: Density calculation. web.maths.unsw.edu.au/~bxs/DieCAST/MANUAL/density.html
- WIDESS M. B. 1973: How thin is a thin bed? *Geophysics* **38**, p. 1176–1180
- WONG G. S. K., ZHU S. 1995: Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure. *J. Acoust. Soc. Am.* **97**, p. 1732–1736